



## **METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DE RÉGIMENES DE CAUDALES AMBIENTALES EN APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS.**

Autores: CECILIA LUCINO, Ingeniera Hidráulica. SERGIO LISCIA, Ingeniero Hidráulico. MERCEDES DEL BLANCO, Ingeniera Hidráulica. MAURICIO ANGULO, Ingeniero Hidráulico.  
Empresa/Organismo: LABORATORIO DE HIDROMECAÁNICA – DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA – FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. ARGENTINA  
E-Mail: [clucino@ing.unlp.edu.ar](mailto:clucino@ing.unlp.edu.ar), [soliscia@ing.unlp.edu.ar](mailto:soliscia@ing.unlp.edu.ar), [mercedes.delblanco@ing.unlp.edu.ar](mailto:mercedes.delblanco@ing.unlp.edu.ar), [mauricio.angulo@ing.unlp.edu.ar](mailto:mauricio.angulo@ing.unlp.edu.ar)

### **RESUMEN**

#### **Palabras Clave**

Caudales Ambientales, Alteración Hidrológica, Aprovechamientos Hidráulicos

### **INTRODUCCIÓN**

El estudio que dio lugar a este trabajo se ha realizado en el marco del asesoramiento que las Universidades Nacionales de La Plata (UNLP) y Misiones (UNAM) llevan a cabo para la Entidad Binacional Yacyretá, de las Repúblicas Argentina y Paraguay. El Laboratorio de Hidromecánica de la Facultad de Ingeniería (UNLP) y el Centro de Estudio para la Energía y el Desarrollo (UNAM), son las unidades ejecutoras de un proyecto que tiene como objetivo la ampliación del parque de generación de la Central Hidroeléctrica existente y contempla otros aspectos referidos al equipamiento hidromecánico existente.

El presente trabajo presenta una metodología para la definición de escenarios con regímenes de caudales ambientales (RCA) en sistemas fluviales alterados hidrológicamente por obras de cierre y consignas de manejo para atender distintos usos del agua. En este caso se aborda el caso particular de la problemática presentada en el caso de coexistir usos energéticos y usos con fines de sostener procesos ecológicos aguas debajo de las obras de cierre. De modo que el RCA es diseñado en función de compatibilizar las necesidades de producción energética con aquellas que sostienen los procesos ecológicos vinculados al régimen hidrológico propio de cada sistema fluvial. La evaluación de distintos escenarios de manejo de caudales se realiza considerando un indicador de producción, como es la “energía cedida” (o lucro cesante) destinada a atender objetivos de conservación de la integridad ecológica. El RCA se define en función de un modelo conceptual que interpreta el significado ecológico de los atributos básicos del régimen natural: magnitud, recurrencia, tasa de cambio, duración y amplitud.

El método es aplicado a un caso particular en el cual se debe determinar de qué manera operar el vertedero que descarga al Brazo Aña Cuá del río Paraná, sabiendo que la máxima producción de energía de la central Yacyretá se obtendría secando temporalmente dicho brazo. Este problema afecta un tramo de alrededor de 25 km de longitud en el cual se han reconocido 156 especies de peces, lo cual muestra la importancia de este sistema fluvial desde el punto de vista ecológico, comercial y recreativo. Es analizada la alteración hidrológica propia del régimen, sin la influencia de la obra, y luego se plantean escenarios de manejo que parten de la hipótesis de reproducir aspectos clave de la dinámica pulsátil propia de estos ríos.

Se plantea además la aplicabilidad de la metodología del RCA a aprovechamientos operados bajo consignas de operación con regulación y en ríos con regímenes diferentes.

## DESARROLLO

### Aspectos generales de la metodología

La metodología se originó a raíz de la necesidad de definir un régimen de caudales a erogar por el brazo Aña Cuá para atender aspectos ambientales en un sistema fluvial complejo como es el río Paraná, considerando el significado ecológico de los atributos hidrológicos y la necesidad de aprovechar eficientemente el recurso hidroeléctrico en la obra existente.

El problema se ha conceptualizado desde el punto de vista ecológico a partir de la teoría del *flood pulse* (Junk W. et al., 1989) y del "pulso hidrosedimentológico" (Neiff J.J., 1990), cuyos conceptos básicos han sido verificados a partir de relevamientos y análisis realizados en distintos tramos del río Paraná.

Propuestas de manejo de grandes ríos, como la de Lipkin R. et al. (2000) en el Missisipi, entre otras, se apoyan en los atributos de la dinámica natural de los ríos para definir las normas operativas. El concepto que subyace en estos criterios es el acuñado como "paradigma del régimen natural" (Poff et al. 1997), que establece que "el régimen natural de virtualmente todos los ríos es inherentemente variable y esta variabilidad es crítica para las funciones del ecosistema y para la biodiversidad nativa". Las variables descriptivas de esta dinámica de los ríos son: frecuencia, amplitud, estacionalidad, duración y recurrencia, así como el gradiente de cambio de los caudales. Cada una de estas componentes tiene una cierta influencia en la diversidad de hábitats, en la conectividad longitudinal, transversal y vertical, lo cual tiene su correlato en la diversidad de especies de los ecosistemas que constituyen el sistema bajo estudio.

El patrón de variabilidad estacional seleccionado se debe adoptar a partir del conocimiento y análisis de la variabilidad natural histórica de la serie de caudales del río en estudio.

Esta consigna de operación de caudales con miras a atender aspectos ambientales entra en conflicto con otros usos principales como es la generación energética en este caso. Es importante atender conjuntamente estos usos y optimizar el recurso hídrico desde el punto de vista de sus usos y del sostenimiento de los procesos biológicos.

La metodología en detalle fue desarrollada en el trabajo *"BRAZO AÑA CUÁ: ENFOQUE ECOHIDROLÓGICO PARA DEFINIR EL RÉGIMEN DE CAUDALES"* presentado en el Primer Congreso Internacional de Hidroclimatología, Cochabamba, Agosto 2009 [5]. En lo que sigue se realiza una descripción general de la metodología, una descripción de su aplicación y de sus aspectos más sobresalientes.

### Caso particular

El Complejo Hidroeléctrico Yacyretá es una central "de paso", emplazada en la cuenca media del río Paraná, en un tramo en el que este río es compartido entre Paraguay, en margen derecha y Argentina en margen izquierda. Su brazo Principal (BP) es la restitución de la central hidroeléctrica, donde descargan los caudales de las veinte turbinas y del vertedero principal. El brazo Aña Cuá (BAC), es receptor de los caudales erogados a través del vertedero secundario. En el BP además de la central y del vertedero principal se alojan dos ascensores de peces y una esclusa de navegación. Figura 1 y 2. La potencia instalada de la central existente es 3200 MW, con un equipamiento de 20 turbinas tipo Kaplan. Esta potencia máxima podrá entregarse cuando el salto sea de 22.5 m, operando con el embalse en cota 83 m, valor de diseño que aún no ha sido alcanzado desde su puesta en marcha a pleno, en el año 1998.

La energía media anual que produce este Complejo es de 20.800.GWh/año aproximadamente, siendo el caudal módulo del río Paraná de 14.300 m<sup>3</sup>/s (tomando la serie de caudales del período 1970-2006). La magnitud de los valores de generación en juego y su relevancia para el sistema interconectado argentino (principal receptor), hacen que cualquier cambio en las consignas de

operación de este Complejo, que optimice la capacidad instalada de su equipamiento, represente un impacto significativo sobre el volumen de generación anual. Esta es la razón por la cual se impone la necesidad de plantear y evaluar distintos escenarios de operación a partir de un adecuado conocimiento del comportamiento hidrológico del sistema.

El problema que se plantea en este caso es que si se propusiera la premisa de aprovechar la mayor energía anual disponible, el BAC quedaría frecuentemente sin aporte de caudal, inhabilitando la continuidad del medio acuático y afectando también la conectividad río – planicie por la alternancia de estos períodos secos. Ésta fue la concepción que orientó el proyecto original, de manera que el vertedero secundario tendría como función erogar los caudales en función de maximizar la energía generada y de manejar las crecidas, junto con el vertedero principal. Es decir, el secado temporario del BAC maximizaría la función energética de la central Yacyretá, al permitir obtener más energía sustrayendo caudal al brazo.

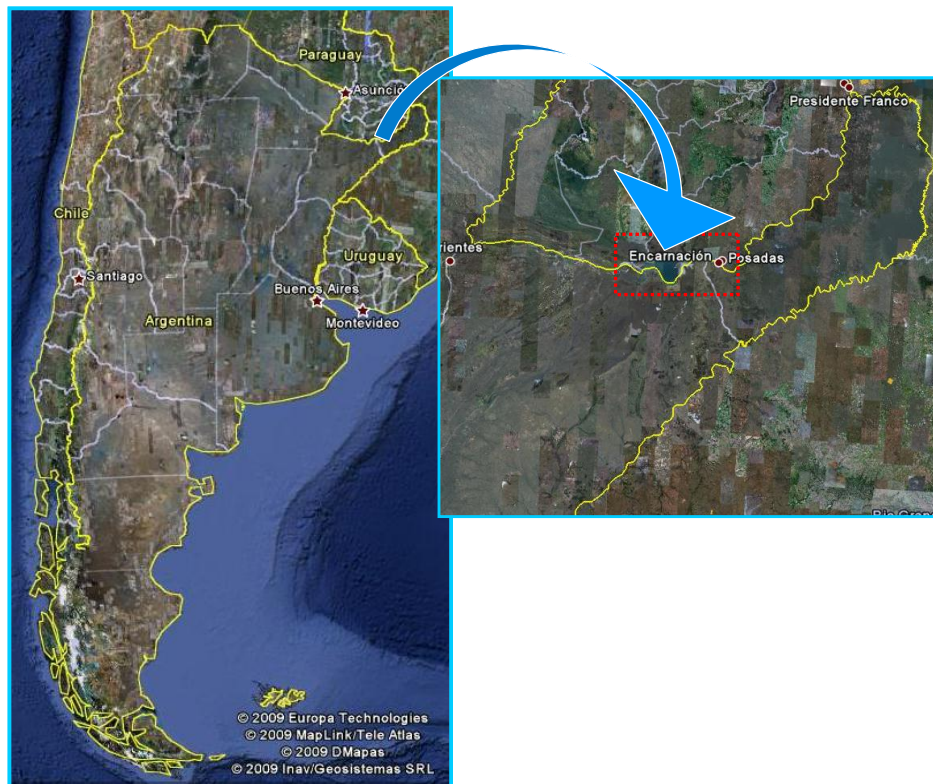


Figura 1: Ubicación



Figura 2: Zona de estudio

#### - Criterio de Manejo

El criterio de manejo propuesto para definir los caudales a erogar por el brazo, se basa en recuperar la estacionalidad, la variabilidad interanual y la periodicidad de diversos rangos de caudales del régimen natural. Se ha procurado que la serie de caudales sintética reproduzca los caudales de subsistencia, de base, los pulsos de caudal y los caudales de desborde que inundan la planicie (NRC, 2005), aún cuando la duración de los mismos resulta menor en relación con los valores históricos. Según estas características y atendiendo al significado energético que tiene la sustracción de volumen del brazo, los caudales fueron diferenciados en distintos tipos: Caudal Mínimo Garantizado Estacional (CMGE), en base a límites de mínima impuestos por los registros históricos, Caudales Excedentes Normales (CEN) y Caudales de Inundación de la Planicie (CIP).

La operación del aprovechamiento hidroeléctrico se realiza dando prioridad al "caudal mínimo garantizado estacional" destinado al BAC, CMGE. Luego, como segunda prioridad, se decide cuánto caudal turbinar, llevando a las 20 turbinas al máximo de su disponibilidad. Si aún hubiera un excedente de caudal, se eroga por el BAC, permitiendo superar el CMGE, esto último con un límite superior del orden de 8000 m<sup>3</sup>/s. Finalmente si el caudal excede a este límite, la diferencia se eroga por el vertedero del brazo principal (BP). Figura 3.

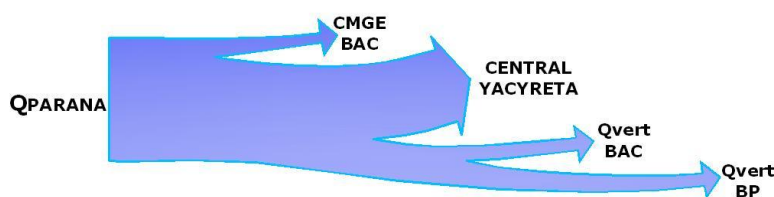


Figura 3

En la Figura 4 se presentan los rangos de valores de los caudales mencionados. Los Caudales Mínimos Garantizados Estacionalmente CMGE quedan definidos atendiendo la necesidad de mantener la variabilidad estacional característica del BAC previa a la obra, con las siguientes premisas: a) valores mínimos absolutos no inferiores a su correspondiente de la serie histórica y b) valores máximos correspondientes con una reducción determinada de la energía producida en la central del BP, que se propondrá como consigna.

Los Caudales Excedentes Normales CEN, son los que cumplen con las siguientes condiciones: a) no pueden ser aprovechados para incrementar la generación porque las turbinas ya están saturadas y b) son caudales altos aún encauzados, que no producen desbordes hacia la planicie de inundación.

Los Caudales de Inundación de la Planicie CIP, son los caudales que superan el caudal de desborde del BAC. Por las características del vertedero, que tiene una capacidad de 40000 m<sup>3</sup>/s, la propia obra podría crear artificialmente una crecida que inunde la planicie, con solo realizar un manejo de caudales normales. Sin embargo, la lógica operativa del complejo hace que se conserve el patrón de ocurrencia natural de los desbordes, aspecto de vital importancia para que la conectividad transversal mantenga su patrón de ocurrencia natural.



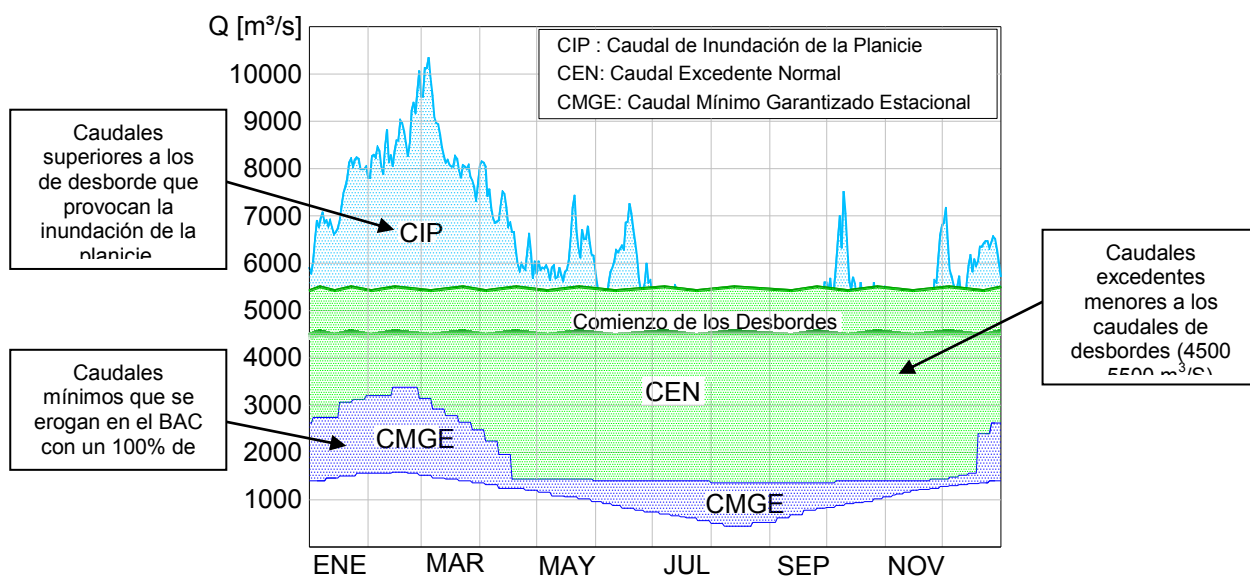


Figura 4

En el caso del BAC, el patrón de variabilidad estacional seleccionado se adopta a partir del conocimiento y análisis de la variabilidad natural histórica. En este análisis definiremos como comportamiento natural del río Paraná, al periodo con datos medidos en forma sistemática, a partir del año 1901, hasta el año 1971. Año a partir del cual se observa modificaciones que impactan fundamentalmente en los mínimos, en coincidencia con un importante incremento de obras hídricas. Por tal motivo nos referiremos como serie histórica a la serie hidrológica que se extiende desde el inicio de las mediciones sistemáticas, año 1901, hasta el final del año 1970.

El comportamiento de los caudales de la serie histórica que escurrió por el BAC, fue reconstruido (Figura 5) a partir de los ajustes realizados con un modelo digital de terreno, que disponía la EBY, y la modelación de régimen gradualmente variado, que proporciona la utilización del software HEC-Ras del cuerpo de ingenieros de Estados Unidos. Esta modelación responde a las mediciones realizadas en el BAC, y en el BP, para diferentes caudales y períodos del mismo.

Esta serie fue procesada para obtener la curva de duración de caudales, los valores diarios medios, y los valores de caudales con duraciones características de 0%, 5%, 25%, 50%, 75%, 95% y 100%. Estos resultados pueden visualizarse en la figura 6.

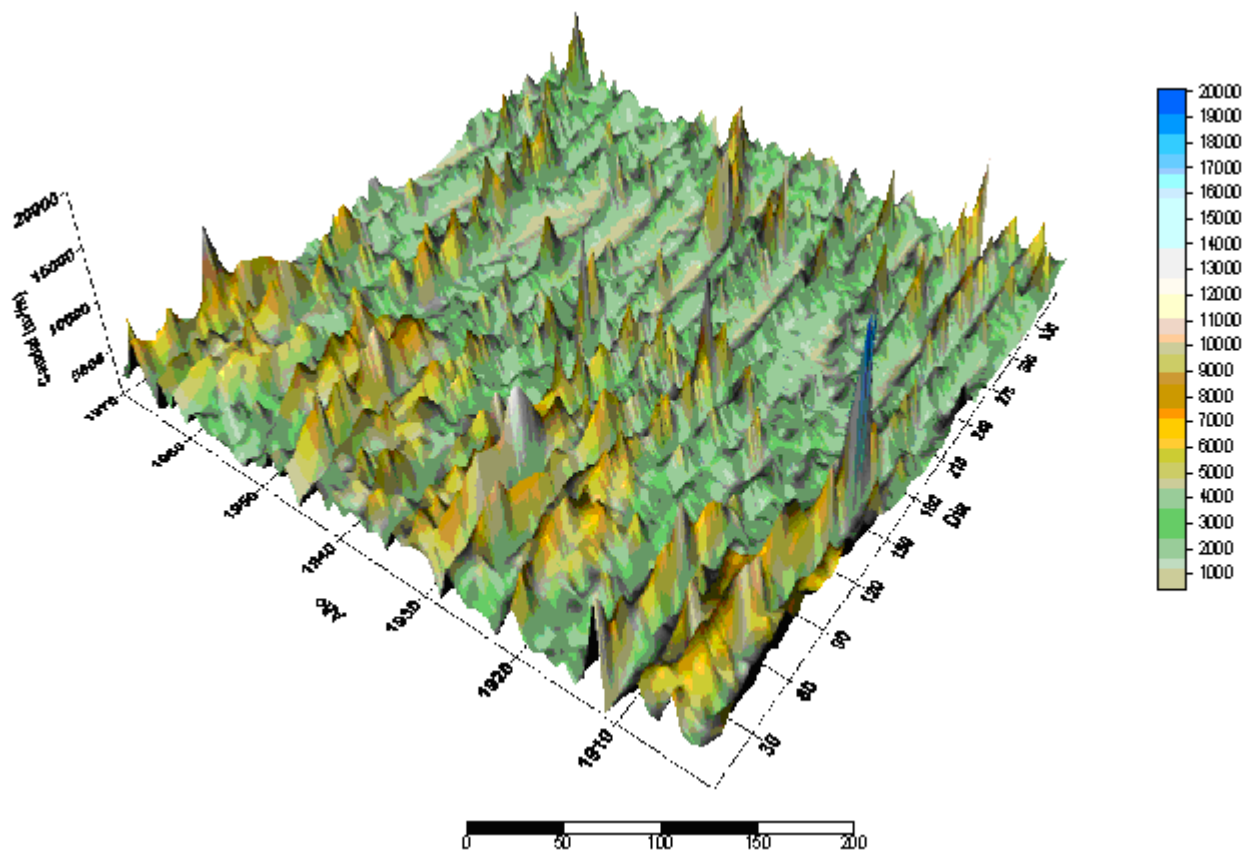


Figura 5

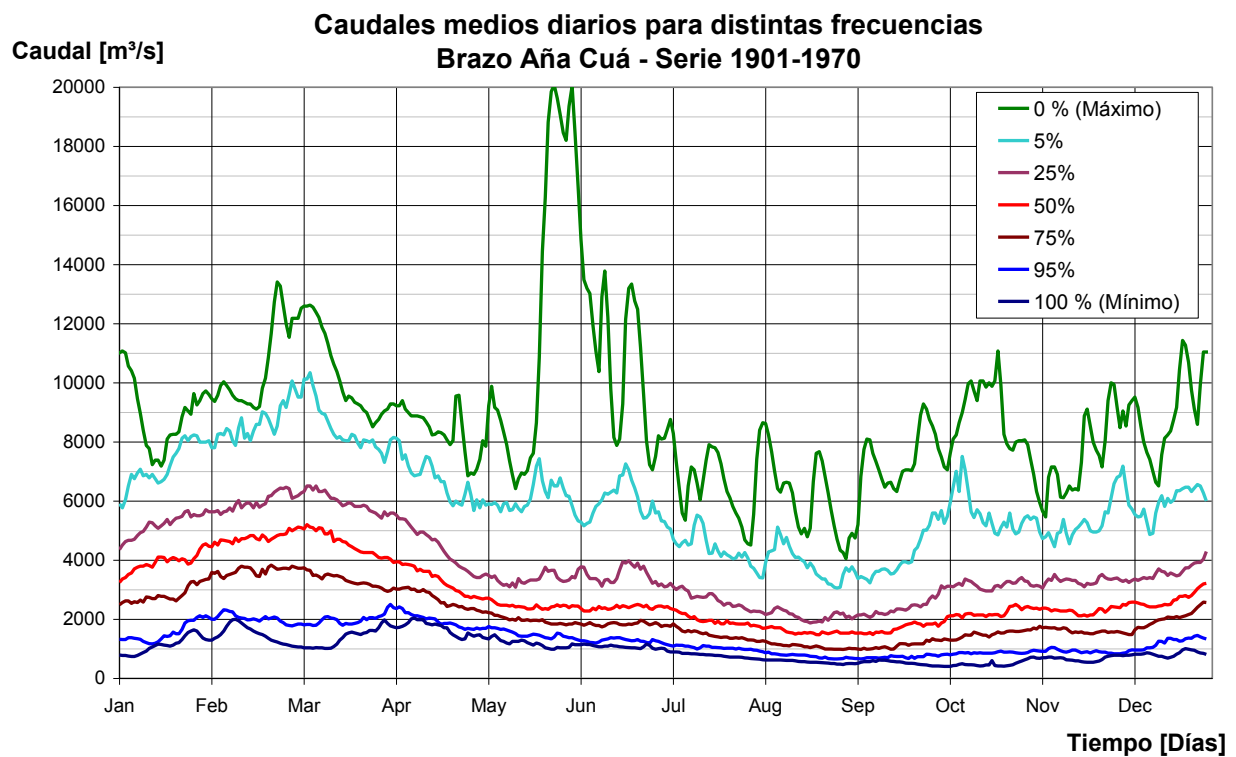


Figura 6

La serie de caudales históricos permite definir una variabilidad estacional, en esta propuesta se consideró adecuada la correspondiente a la serie anual de caudales medios diarios históricos de duración 50%. La cual caracteriza la variabilidad del Caudal Mínimo Garantizado Estacional

(CMGE). El escenario de CMGE, con menor caudal absoluto a proveer al BAC se define como aquel que tiene como propósito:

*“Mantener la variabilidad seleccionada pero igualando el valor mínimo absoluto a su correspondiente de la serie histórica”.*

El escenario de CMGE, con mayor caudal absoluto a proveer al BAC se define como aquel que tiene como propósito:

*“Mantener la variabilidad seleccionada e incrementar el caudal hasta que se produzca una reducción significativa de la energía del BP”.*

Ambos aspectos definen la zona ó sub área para seleccionar el caudal mínimo del BAC, en un periodo o día determinado, como puede observarse en la figura 7.

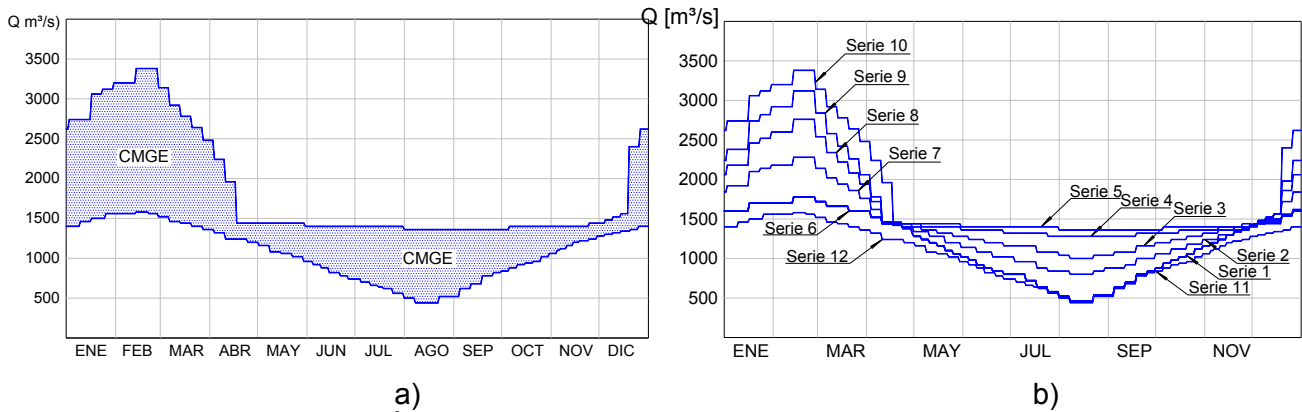


Figura 7: a) Área de los CMGE, b) Series discretas de los CMGE

La metodología para la definición de los CMGE del BAC, tiene como base un análisis energético-hidrológico de la serie histórica de caudales considerando distintas consignas de caudales CMGE abarcando en forma discreta el área definida en la figura 7 a (Series k – Figura 7 b) y respondiendo al criterio de operación del complejo hidroeléctrico antes descrito. Este análisis produjo 12 gráficos, uno por mes, bases para la aplicación de la metodología, los cuales en el eje de abscisas tiene el caudal expresado como desvío porcentual respecto de la media histórica para el correspondiente mes, y en ordenadas la pérdida de energía en porcentaje referida a los valores de energía máxima de referencia. La energía máxima de referencia se da con la consigna de operación de que la central Yacyretá tenga prioridad total, estando el resto de los usos, en particular el BAC, subordinado a la disponibilidad de caudales "sobrantes" de la central hidroeléctrica. Esta situación da el valor de generación máxima posible de la central Yacyretá en los periodos considerados. A continuación se presentan las ecuaciones correspondientes y uno de los gráficos nombrados precedentemente en la figura 8 (gráfico correspondiente al mes de enero)

$$\%Q_{promedio\_AA} = \frac{Q_{medio\_AA\_año\_i} - Q_{medio\_AA}}{Q_{medio\_AA}}$$

$$\% \Delta E_{cedida\_BP\_mes.j} = \frac{E_{gen\_mes.j\_año\_i\_ (Consigna\_referencia)} - E_{gen\_mes.j\_año\_i\_ (Serie\_k)}}{E_{gen\_mes.j\_año\_i\_ (Consigna\_referencia)}}$$

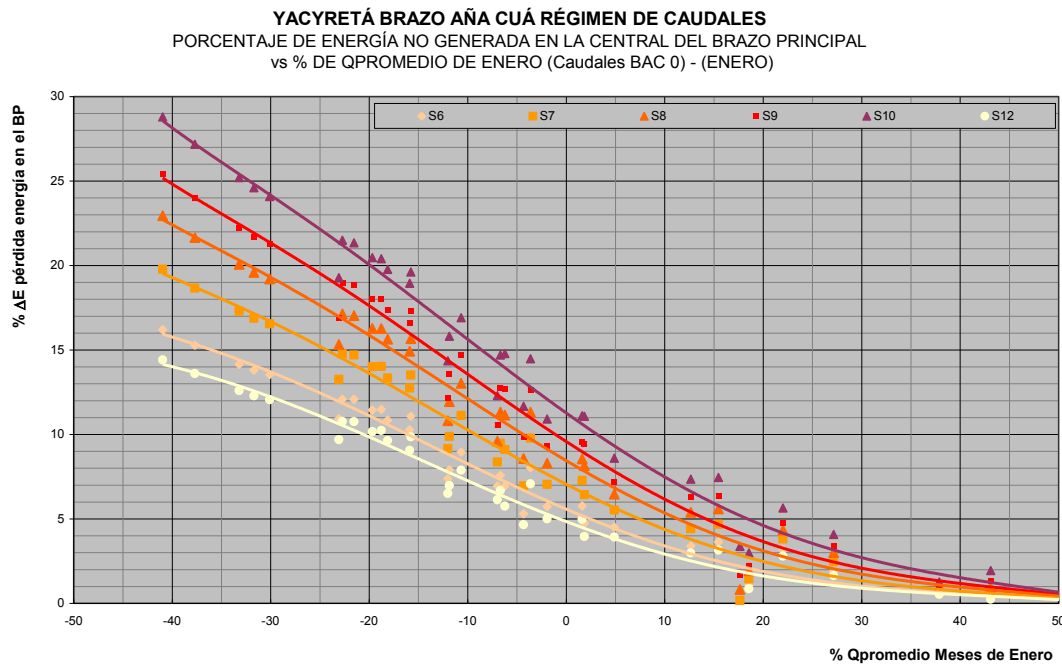


Figura 8

La metodología para la definición del CMGE del BAC necesita previamente establecer una consigna de energía cedida por el BP,  $\Delta E_{\text{ObjetivoBP}} [\%]$ , para luego realizar los pasos de cálculo en base a comparaciones hidrológicas del periodo considerado con las características medias (históricas) hidrológicas de ese mismo periodo para decidir que caudal CMGE se erogará en el BAC en el mes entrante según la consigna de energía cedida por el BP objetivo. El procedimiento de cálculo de esta metodología, llevado al modelo de simulación *MES08* (desarrollado en el programa *Visual Basic®*), permitió obtener la serie de caudales diarios a erogar por el brazo Aña Cuá.

En la figura 9 se muestra conjuntamente la serie de caudales mínimos CMGE y la serie de caudales totales (CMGE + CEN + CIP) a erogar por el BAC para una consigna de pérdida de energía del 5%, en la cual puede observarse la variabilidad estacional que se asegura para los caudales mínimos y los caudales excedentes normales y de inundación de planicie que se dan al llegar al máximo de su capacidad de generación la central hidroeléctrica. En términos medios anuales se presenta en la figura 10 las series medias anuales de caudales naturales erogados por el BAC y la resultante de la aplicación de la presente metodología para una pérdida objetivo de energía del 5%.

En la figura 11 se observa para un período dado conjuntamente series de caudales erogadas por el BAC resultantes de la simulación con consignas de pérdidas de energía del 0 %, 5 % y 8 % y la serie correspondiente a un caudal garantizado constante de 1500 m<sup>3</sup>/s, el cual fue consigna de operación aproximadamente durante diez años. Puede observarse en dicha figura la diferencia en la variabilidad de los caudales mínimos.

En cuanto a la energía aprovechada, es importante destacar que la modalidad de manejo propuesta es conveniente desde el punto de vista energético, en comparación con la erogación de un caudal mínimo constante “ecológico”. Esta ventaja es tanto cuantitativa, al conseguirse una energía anual generada levemente mayor, como cualitativa, al ponerse a disposición la mayor generación en un período de demanda pico y de menor oferta de energía no renovable en la República Argentina. Figura 12.



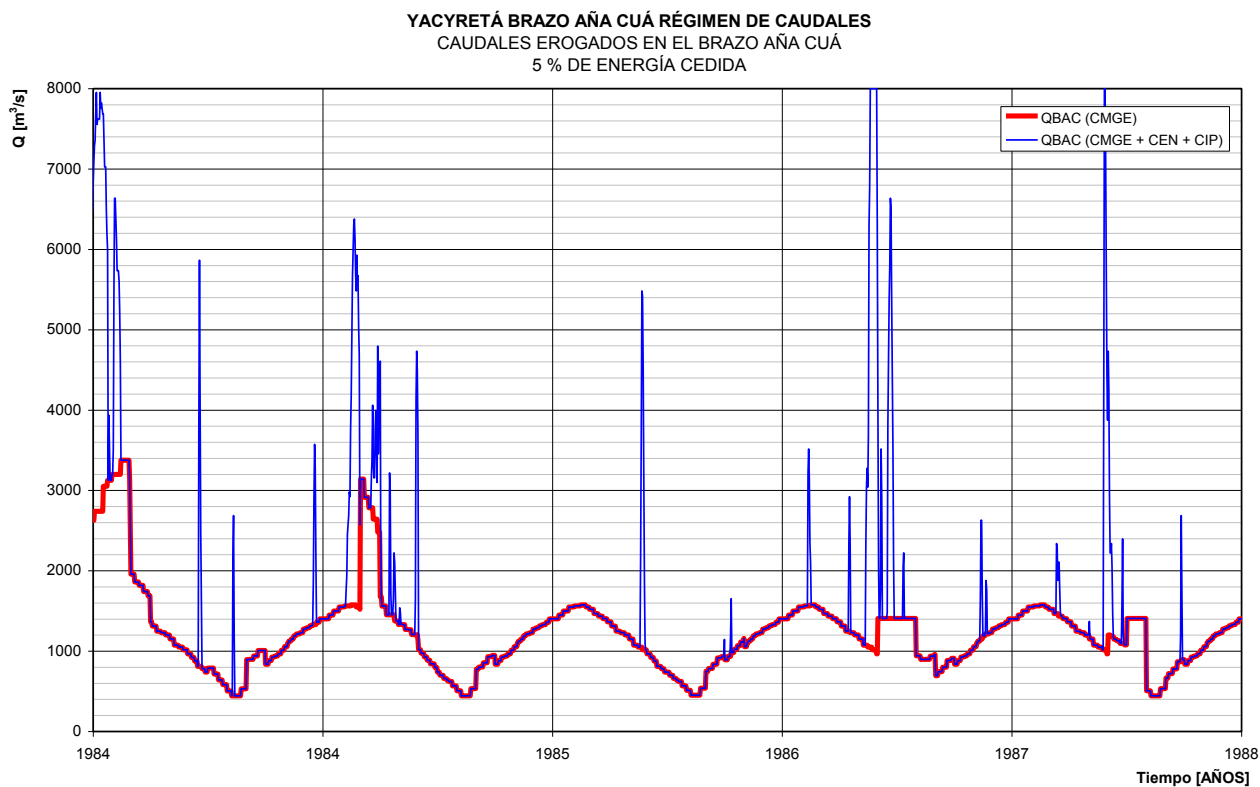


Figura 9

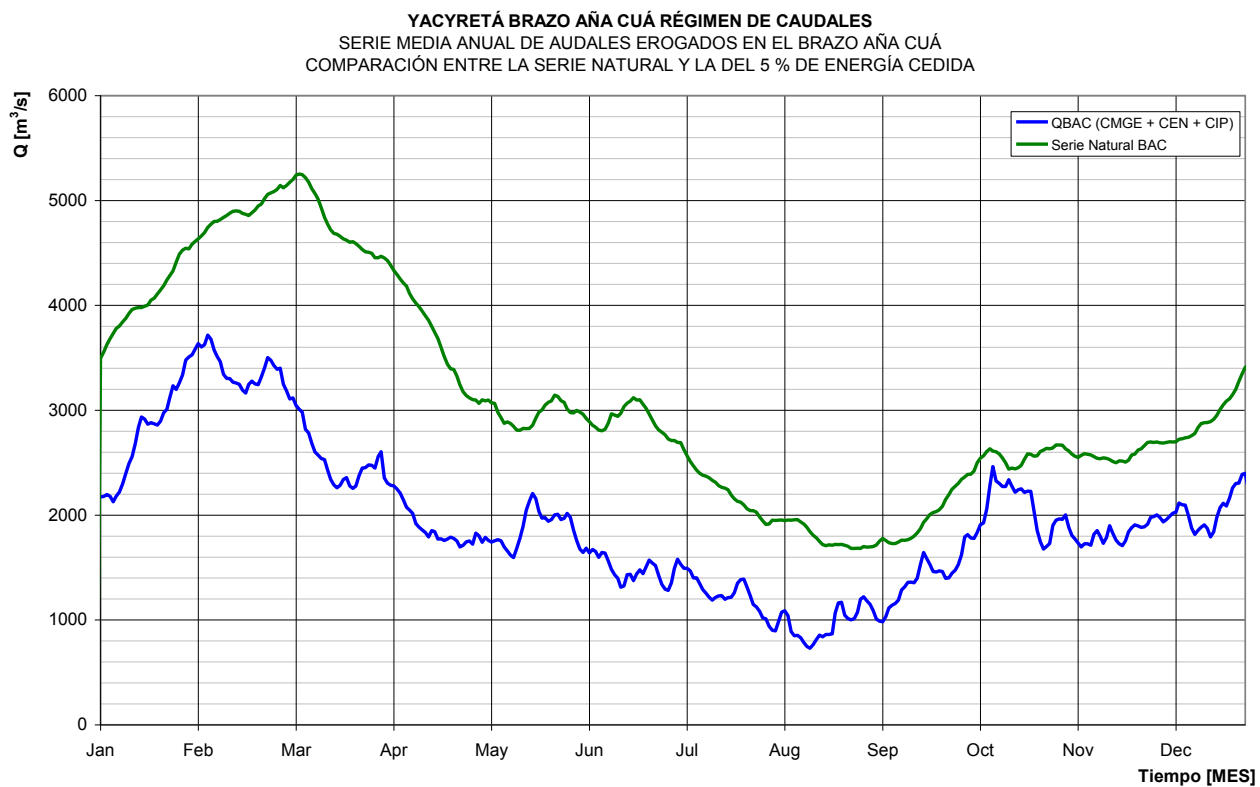


Figura 10

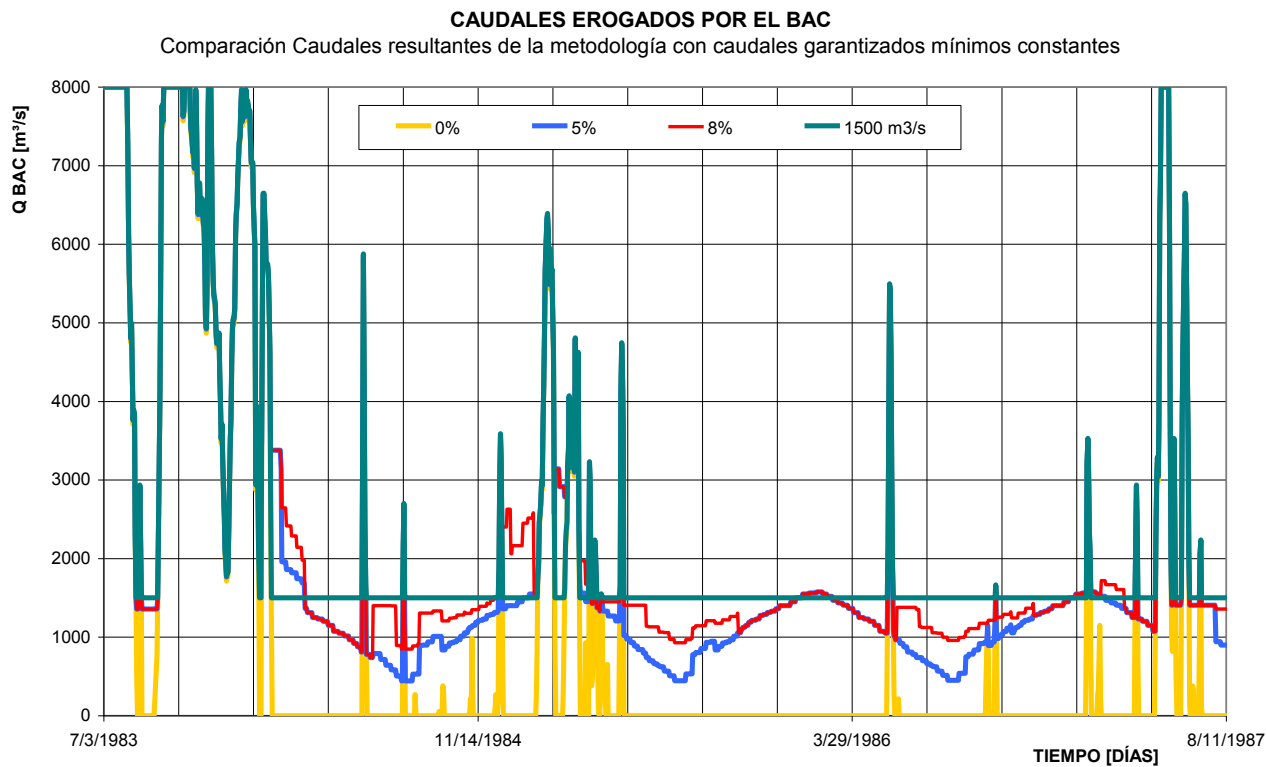


Figura 11

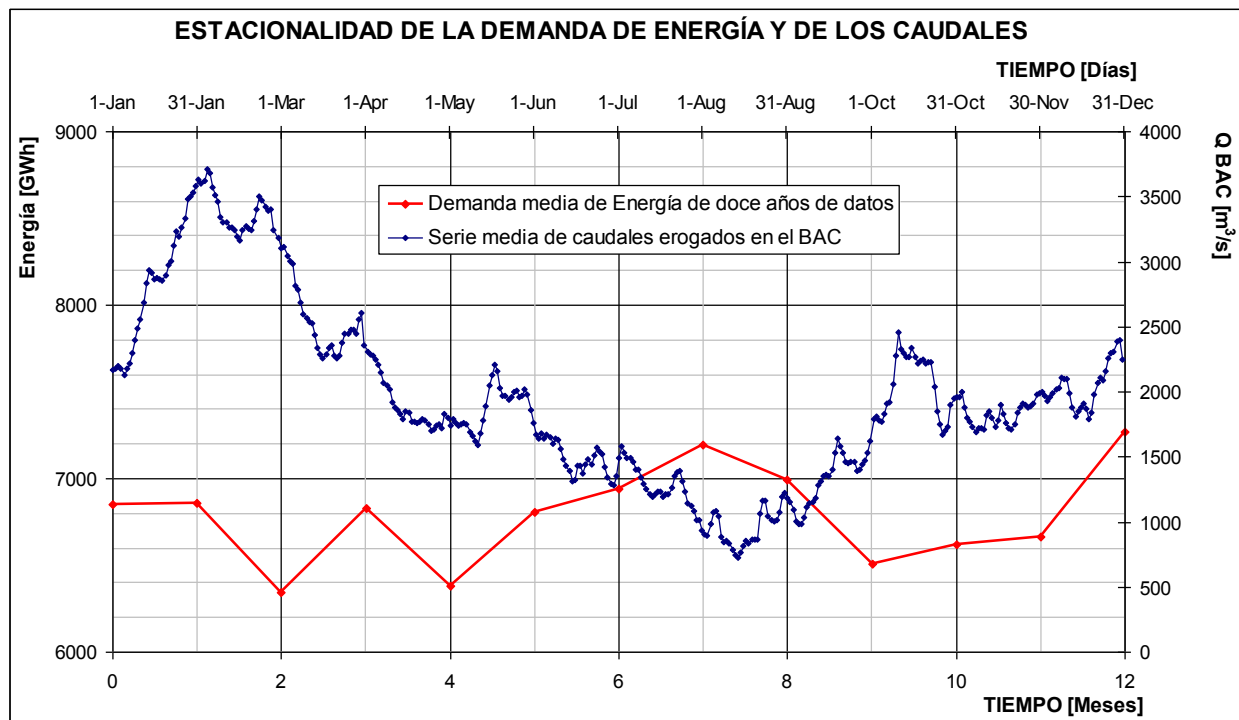


Figura 12

## Planteo de aplicabilidad de la metodología a otros casos

La metodología presentada fue desarrollada para el caso particular de un sistema fluvial de llanura donde la central es de paso y con las particularidades que el emplazamiento del complejo hidroeléctrico Yacyretá ha impuesto, abordando la problemática que presenta el caso de coexistir usos energéticos y usos con fines de sostener procesos ecológicos aguas debajo de las obras de cierre.

El planteo de lo que suele llamarse "caudales ambientales", se da mayormente en el caso de los aprovechamientos con regulación, en ríos con regímenes de características diferentes (nival o pluvionival, por ejemplo) en los cuáles la regulación busca justamente modificar el régimen natural por las ventajas que esto representa para garantizar ciertos caudales con determinados fines. La alteración hidrológica que se produce respecto del régimen natural puede ser de distinta magnitud, dependiendo de la envergadura de la obra (y su consecuente capacidad de regulación) y de las consignas operativas impuestas. A continuación se plantea a modo de ejemplo el caso del Aprovechamiento Hidroeléctrico Chihuido I, en el río Neuquén, a fin de mostrar la incidencia de distintas decisiones de proyecto sobre la alteración hidrológica del régimen del río.

Se han considerado para esta planteo los valores de Nivel Máximo de Operación (NMaN), Nivel Mínimo de Operación (NMin) y Potencia Instalada (PINST) de cuatro proyectos antecedentes: dos de ellos propuestos con la aplicación de la *Metodología de Selección de Potencia Instalada en Centrales Hidroeléctricas* (Liscia et. al. 2008), y los dos restantes correspondientes al estudio antecedente de AYEE, de 1977 y 1987. En la Tabla 1 se presentan los datos de interés de cada uno de estos proyectos para su caracterización a los fines propuestos.

COMPARACIÓN DE ESTUDIOS PARA LA PRESA "EL CHIHUIDO I"				
	AyEE 1977	AyEE 1987	UNLP-CP	UNLP-CP
Serie Hidrológica	1904-1977	1904-1987	1904-2006	1904-2006
Cota Coronamiento (m)	675	655	630	620
Area (km <sup>2</sup> ) / Vol (hm <sup>3</sup> ) de embalse	448 / 19510	325 / 11750	186 / 5430	138 / 3780
NMaN / NMin (m)	670/641	650/641	625/615	615/605
Salto (m)	140	120	85	75
Potencia Instalada (MW)	<b>1875 (6 Tur)</b>	<b>852 (3 Tur)</b>	<b>450 (3 Tur)</b>	<b>450 (3 Tur)</b>
Energía Media anual generada (GWh)	<b>2800</b>	<b>2600</b>	<b>2020</b>	<b>1830</b>

Operación diaria media (hs)

4.33

Tabla 1

9.00

12.24

11.09

En la figura 13 se presenta la serie anual media de caudales históricos, donde se puede observar que el río Neuquén tiene características pluvionivales, con aguas bajas durante el período Marzo - Abril y dos crecidas: en invierno, Mayo - Agosto, producidas por lluvias, y en verano, Noviembre - Diciembre, producida por la fusión de nieve. La serie histórica de caudales también fue procesada para obtener la curva de duración de caudales, con duraciones características de 0%, 5%, 25%, 50%, 75%, 95% y 100% (Figura 14).

En el caso de Chihuido I, si se considera la importancia de mantener la variabilidad estacional en correspondencia con la serie media anual del régimen natural y mantener los caudales mínimos históricos, deberían garantizarse dos crecidas anuales como los períodos de mínimas, siendo este último en todos los casos mayor o igual al mínimo histórico.

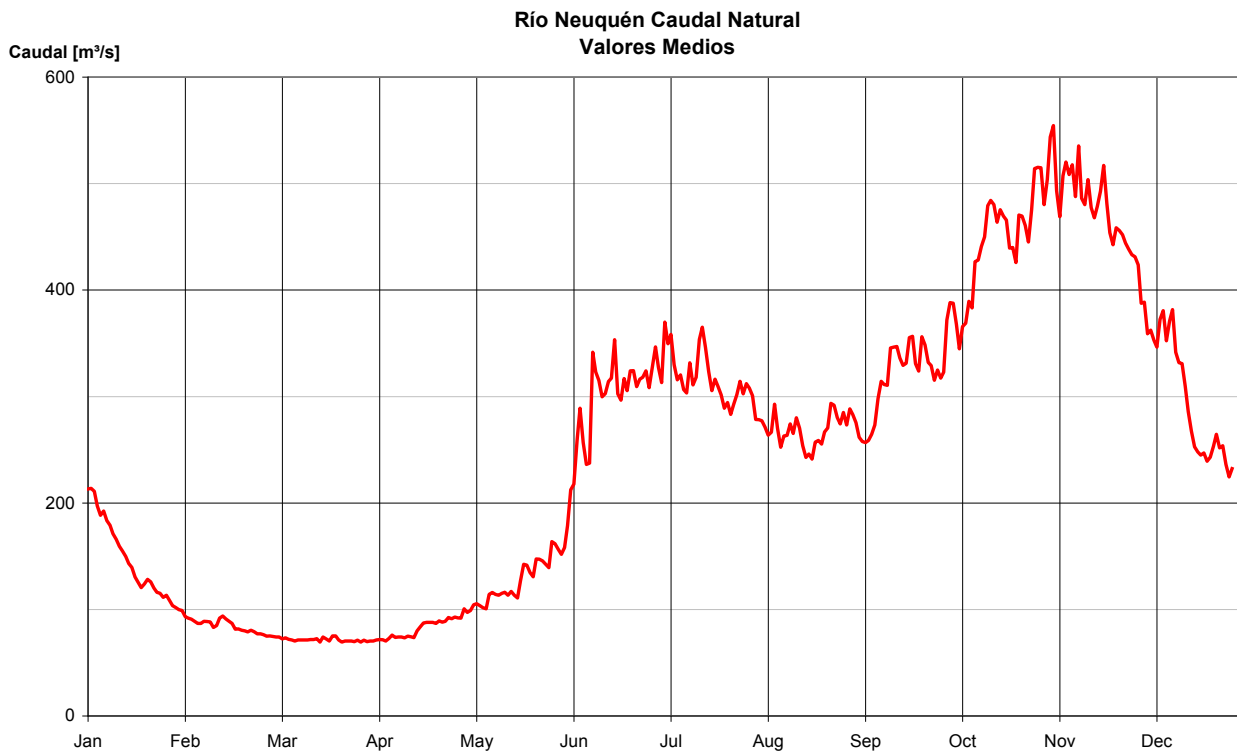


Figura 13

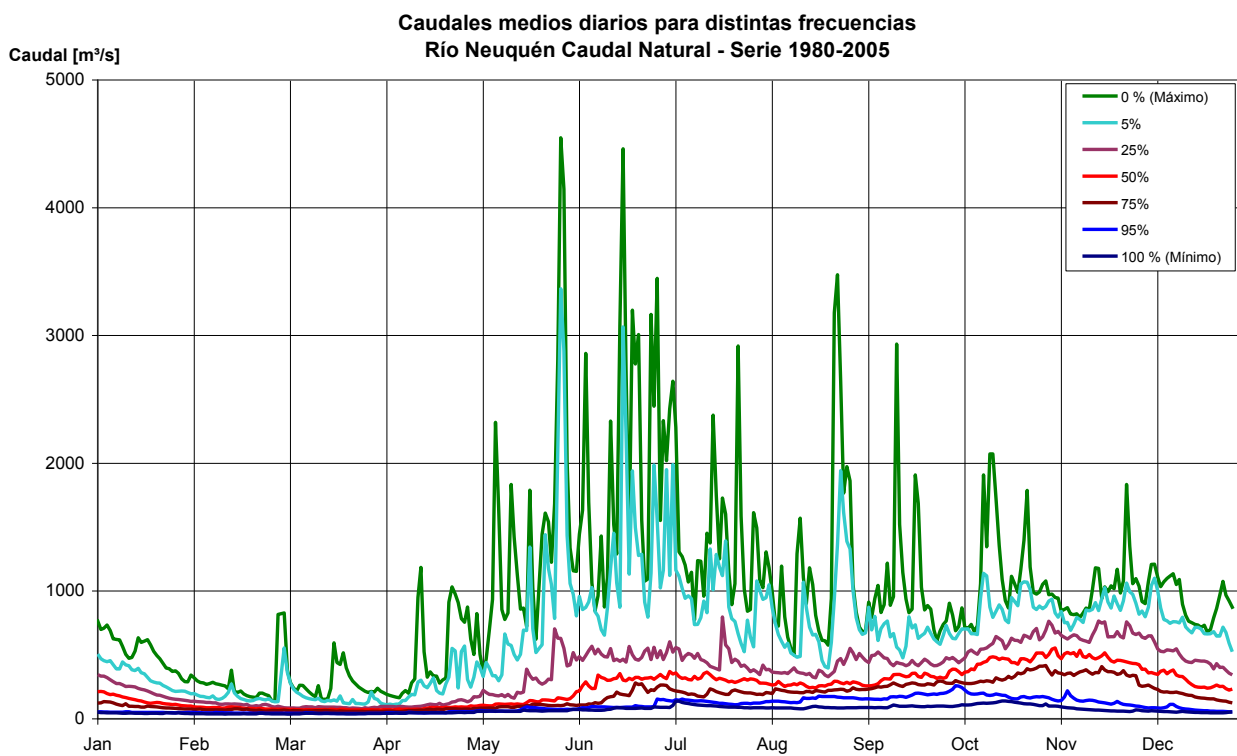


Figura 14: Caudales medios diarios para distintas duraciones, Serie Natural.

Se realizaron simulaciones del movimiento del embalse con consignas energéticas para los proyectos antes citados. En las figuras 15, 16, 17 y 18 se observan los valores de caudales naturales y regulados para un periodo dado, de los resultados de las simulaciones de los proyectos antecedentes de AYEE del año 1977 y 1987 y de los correspondientes a la aplicación de la metodología de selección de potencia instalada, antes citada, para NMaN = 625 m y NMaN = 615 m, respectivamente.

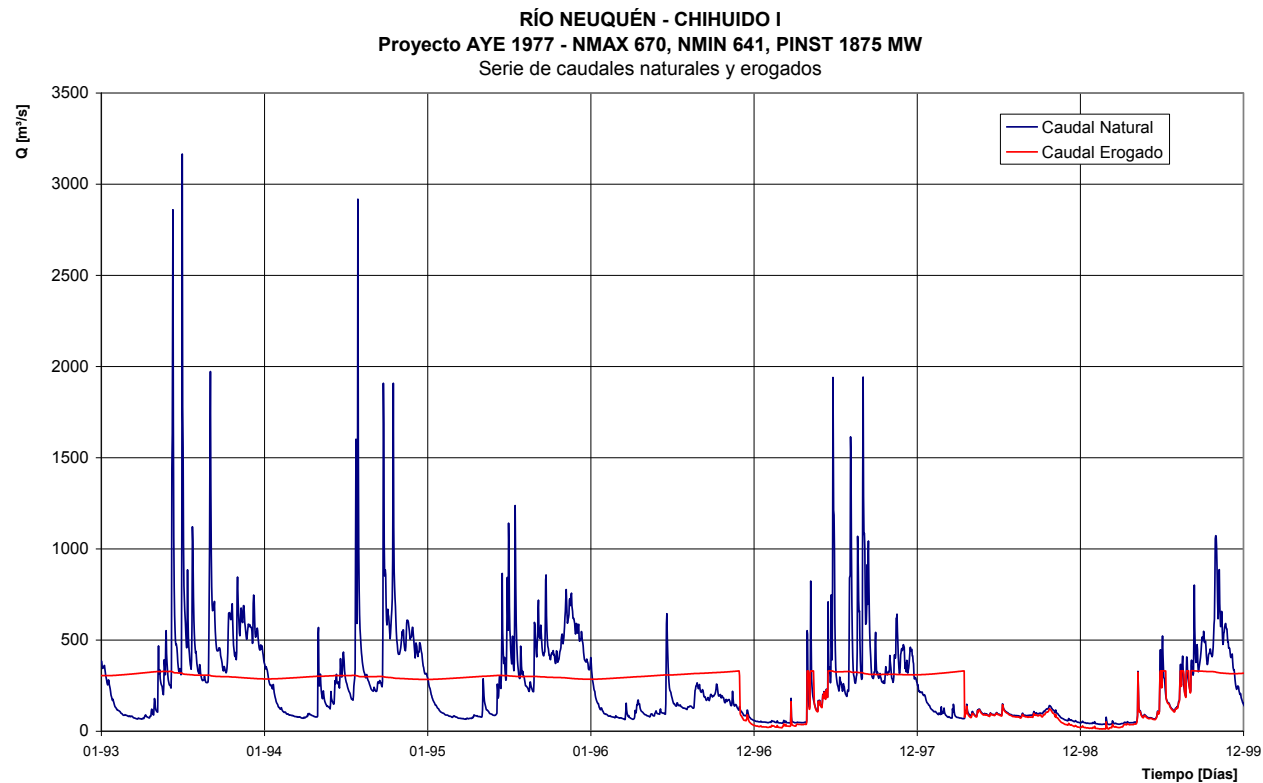


Figura 15

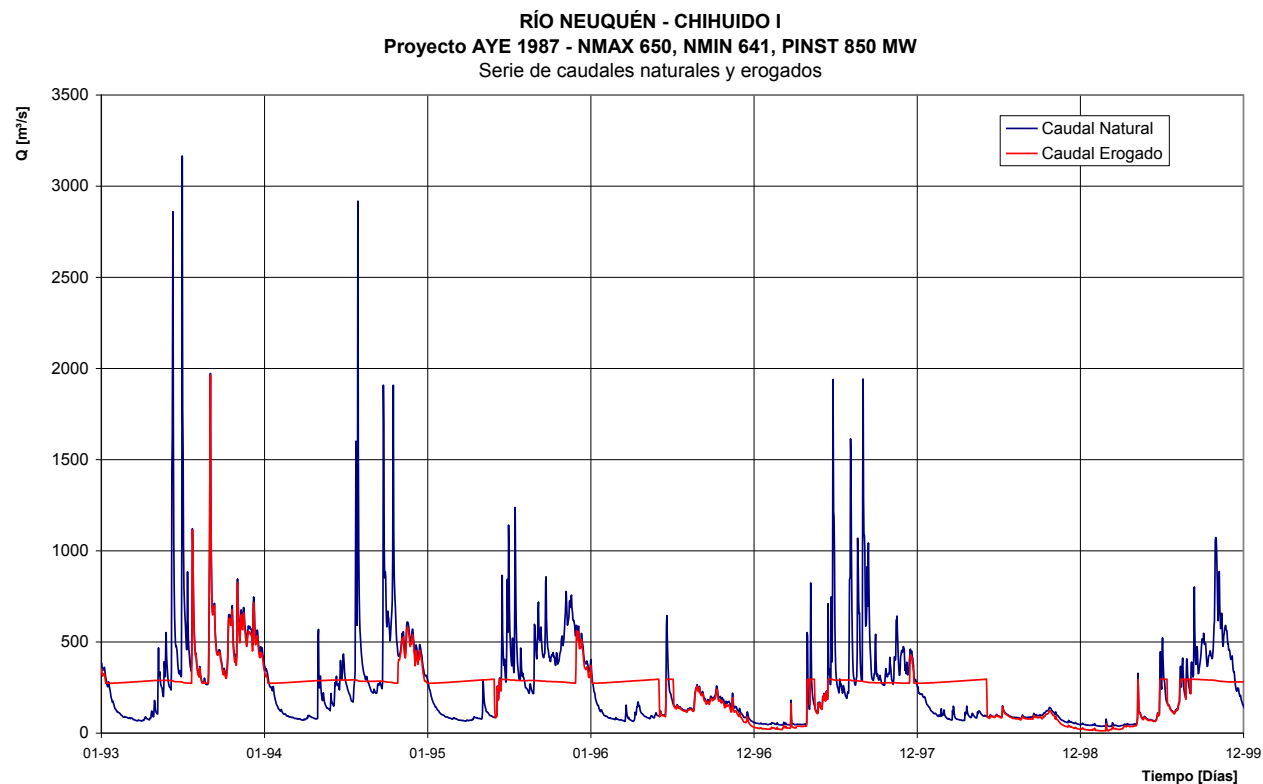




Figura 16

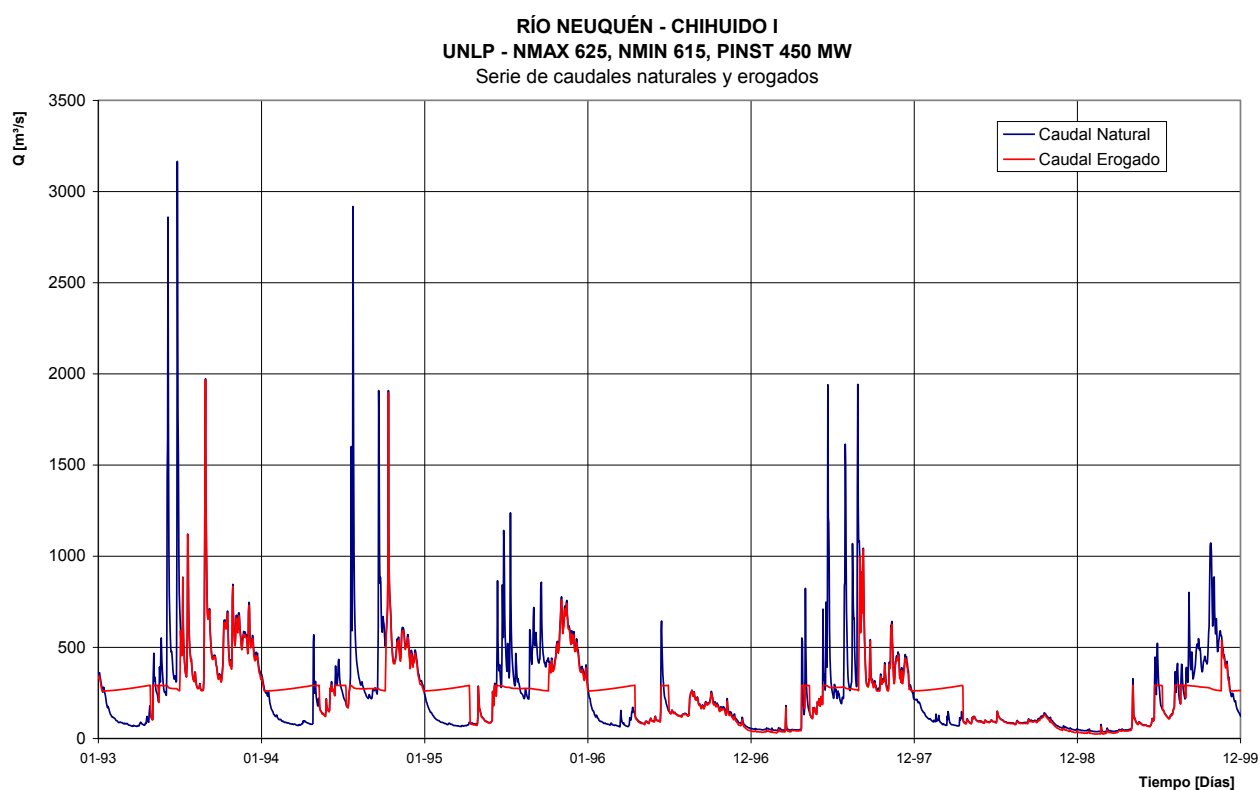


Figura 17

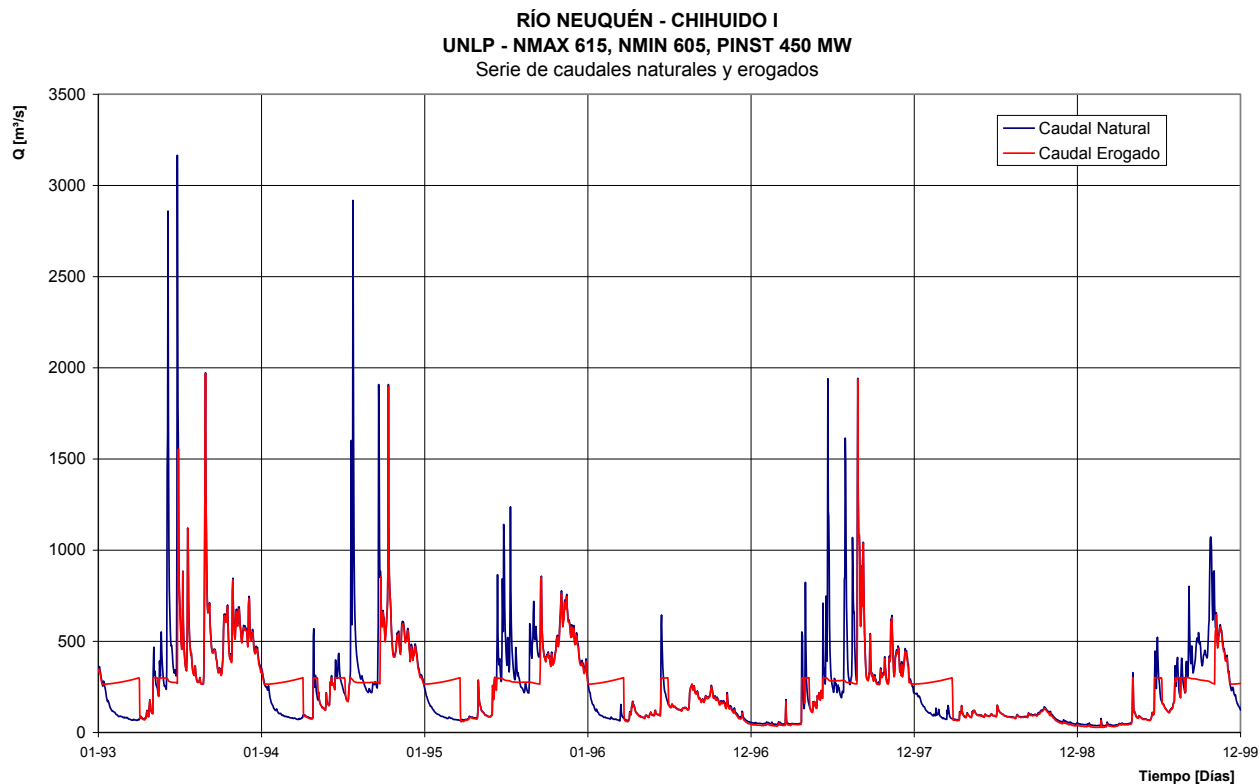
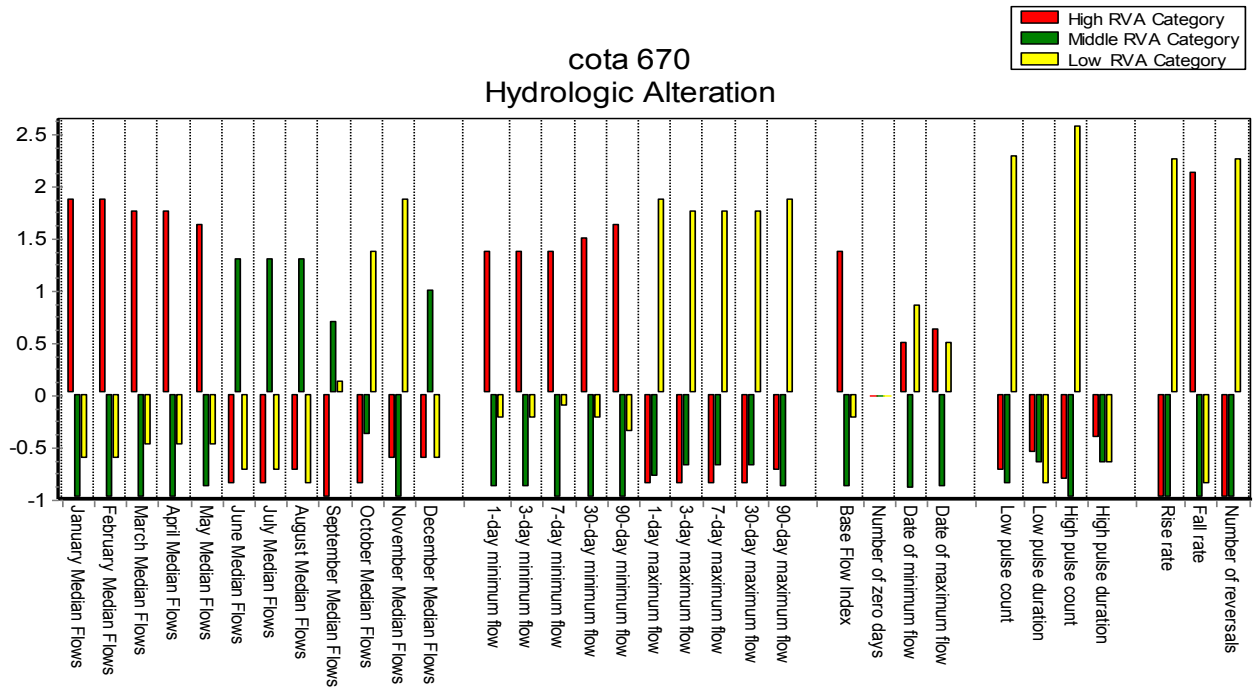


Figura 18

Un simple análisis cualitativo permite advertir de qué manera los distintos proyectos inciden sobre la alteración de la variabilidad estacional del régimen del río. En las grandes represas proyectadas por AYEE se observan grandes modificaciones del régimen de caudales al no producirse en

muchos casos las dos crecidas anuales y erogarse un caudal prácticamente constante durante periodos de tiempo que abarcan mas de un año hidrológico (regulación interanual). En los proyectos analizados por la UNLP con la aplicación de la metodología de selección de potencia instalada, se observa que la primera crecida anual sufre la mayor alteración en cuanto a su frecuencia natural.



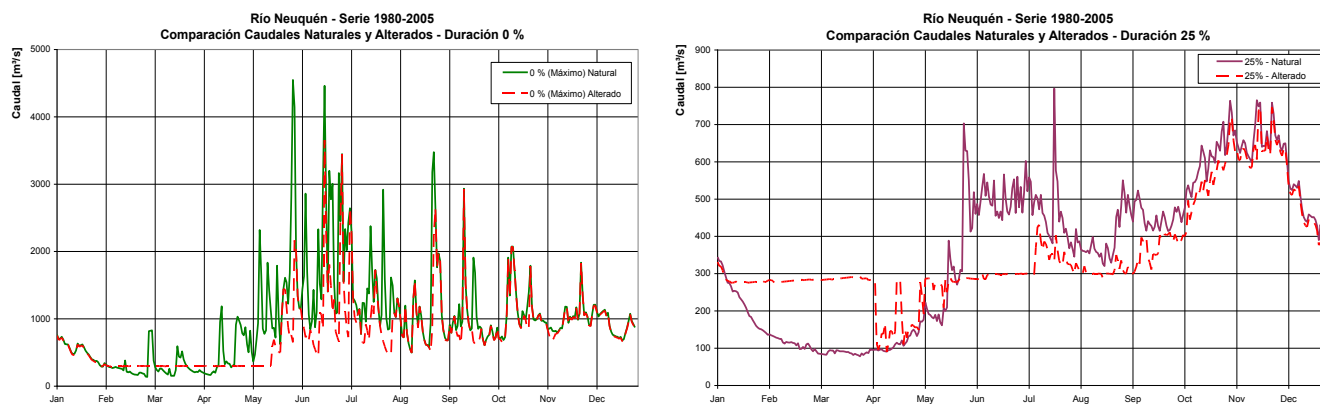


Figura 19

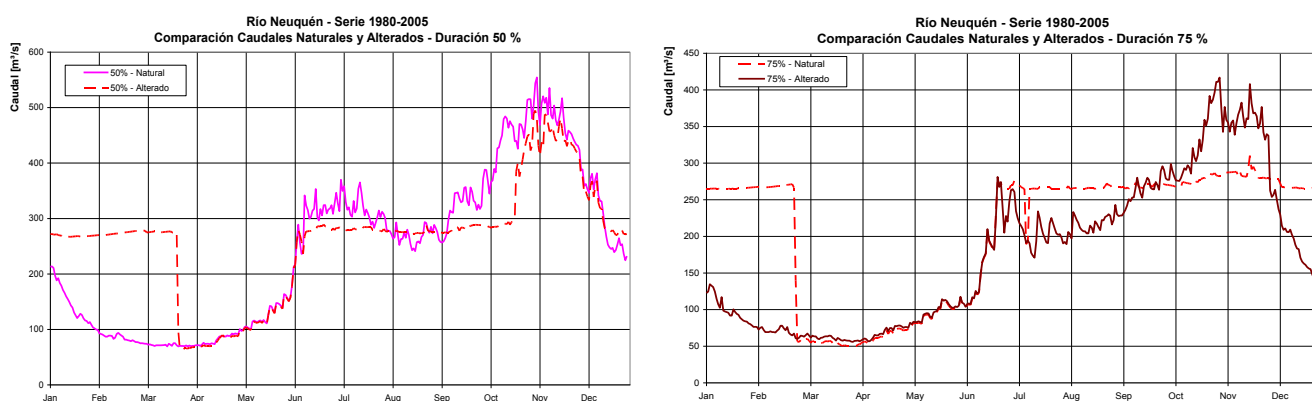


Figura 20

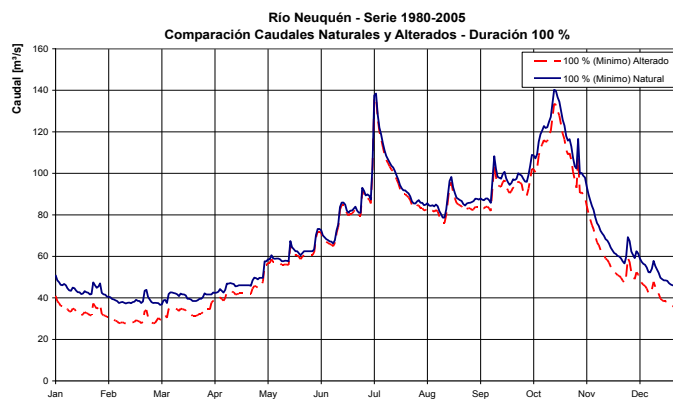


Figura 21

Un análisis más exhaustivo de los cambios en el régimen del río puede hacerse utilizando el Índice de Alteración Hidrológica (IHA) (Richter, 1998). Este método propone una caracterización de la alteración hidrológica de un régimen de referencia (natural en este caso) a partir de lo que denomina "componentes ambientales del flujo". El mayor potencial de este método es el de poder apreciar de una manera sencilla en qué medida se modifican los atributos básicos de una serie hidrológica de referencia. El autor propone también una relación entre las componentes ambientales del flujo y los aspectos bióticos sobre los que tienen influencia, aspectos que habrá que analizar cuidadosamente en cada caso particular (Richter, 1998). El método permite la comparación de estadísticas entre dos periodos diferenciados o también permite la evaluación

de las tendencias graduales de variación a través del tiempo de una serie temporal determinada y trabaja sobre 5 características de los regímenes de caudales: Magnitud, Frecuencia, Ocurrencia, Duración y Gradiente de cambio.

Se reconocen 5 eventos denominados Componentes Ambientales del Flujo (EFC): a) Caudales bajos extremos, b) Caudales bajos, c) Pulsos de caudal alto d) Caudales de desborde y e) Caudales de inundación de la planicie. Cada grupo de eventos de caudal es evaluado con las 5 características antes mencionadas. Sintéticamente el método realiza los siguientes cálculos: primero calcula "la alteración hidrológica natural". Para ello trabaja con una distribución de percentiles (superior, medio e inferior, que se definen o se asume por *default* el asignado por el programa) tomado la mediana como referencia. A partir de esta clasificación, el programa calcula la frecuencia esperada de ocurrencia de cada uno de los parámetros de la serie alterada en cada intervalo (superior, medio e inferior) a partir de los datos del período pre-impacto. Luego, calcula los valores que realmente ocurren en el período post impacto en cada rango. La frecuencia esperada es calculada con el número de valores del período pre impacto en una cierta categoría multiplicado por el cociente entre los años post-impacto y pre-impacto (para hacer equivalentes ambos períodos si son de distinta cantidad de años). El Factor de Alteración Hidrológica es calculado como:

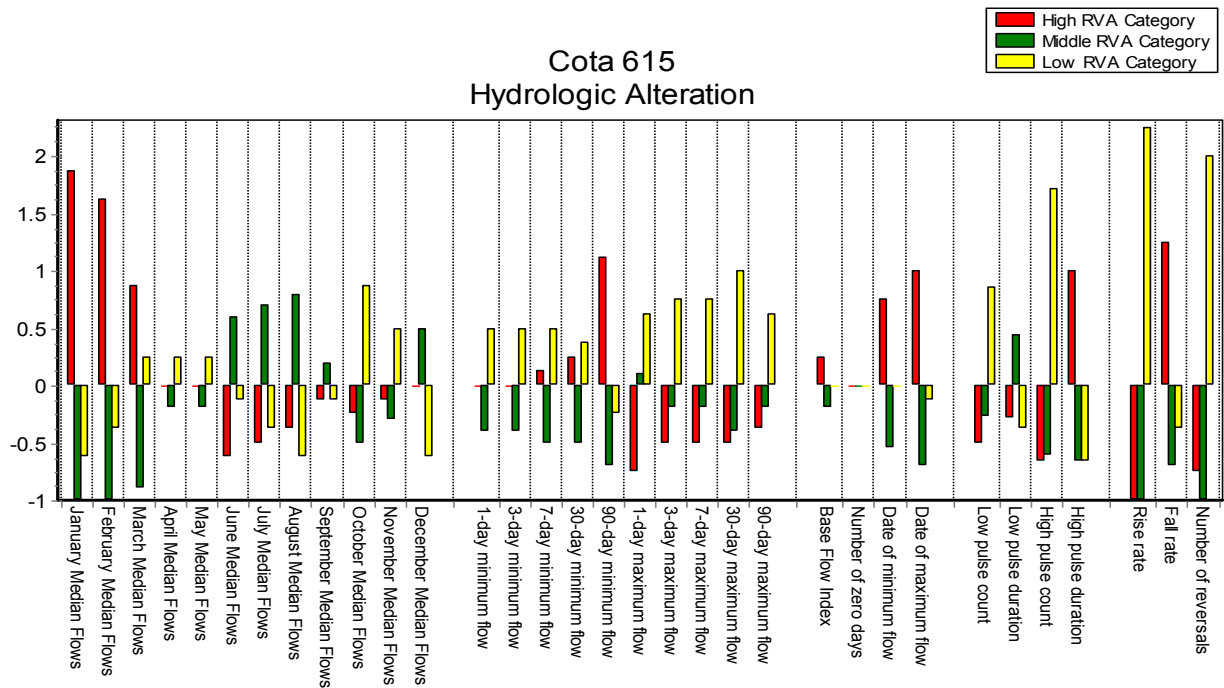
***Factor Alt. Hidr= (frecuencia observada- frecuencia esperada)/ frecuencia esperada***

En las Figuras .... se observan con tres colores diferentes los rangos de variabilidad (RVA): medio, superior e inferior para las variables listadas en abscisas. Estos valores deben interpretarse de la siguiente manera: los valores negativos indican que la característica evaluada en el período post-impacto, o sea, con los caudales regulados, para el RVA que se esté evaluando, se da con menos frecuencia que en la serie de referencia (el valor -1 significa que directamente *no hay valores* en ese percentil). Lo contrario ocurre si da un valor positivo. Por ejemplo, los valores del percentil superior de la mediana de los caudales del mes de enero (RVA rojo) en el proyecto de cota 615 tienen una frecuencia de ocurrencia mayor que los de referencia para ese mes. O sea, la "desviación de la frecuencia" de ocurrencia, en valor relativo, es cerca de +2.

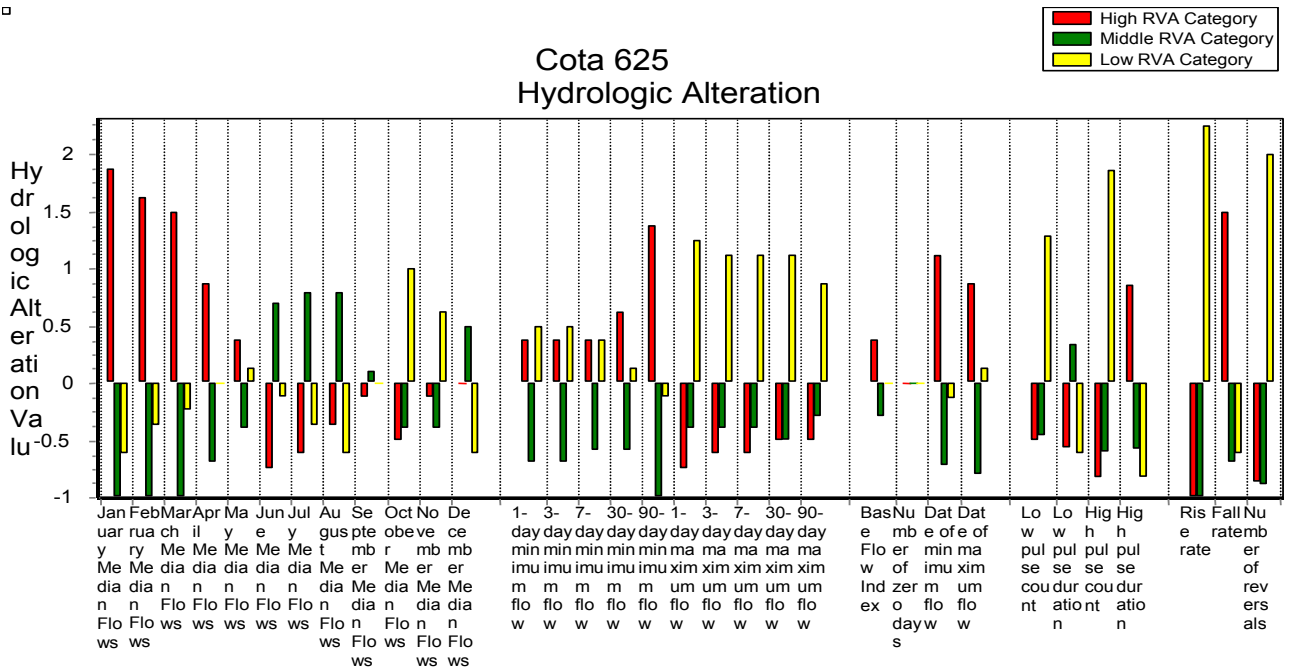
Así, se pueden observar las cuatro alternativas de proyecto propuestas para apreciar qué magnitudes se dan las mayores alteraciones hidrológicas y cómo cambian de un proyecto a otro.

A partir del indicador de producción (potencia instalada y energía generada) y con una la herramienta de cálculo como la presentada para análisis de la alteración hidrológica se podrían proponer escenarios de consignas operativas que propongan "objetivos" a cumplir para preservar ciertos atributos del régimen natural, por ejemplo, no superar ciertos valores de alteración hidrológica que se consideran prioritarios estacionalmente, y paralelamente evaluar qué significa esa decisión en términos de "energía cedida", como se propuso en la primera parte de este trabajo.

## Cota 615 Hydrologic Alteration

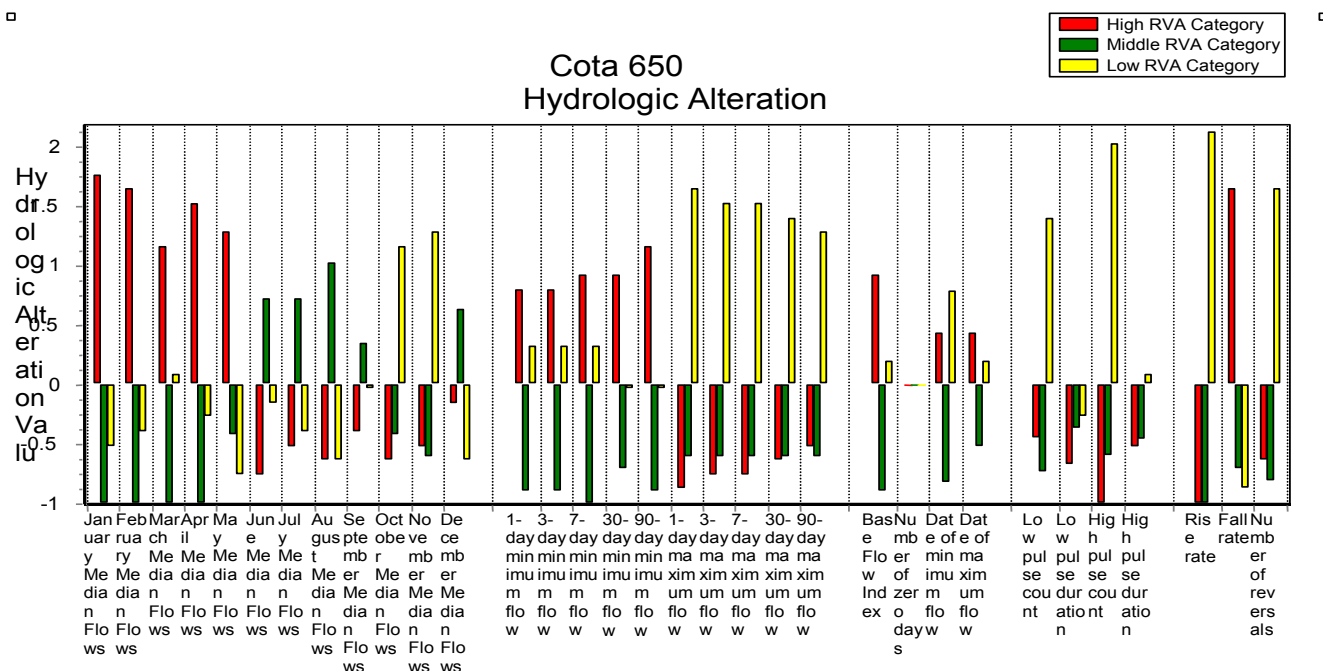


## Cota 625 Hydrologic Alteration



cambiar





## CONCLUSION

Se ha propuesto un enfoque para definir regímenes de caudales ambientales que tiene en cuenta los atributos de la serie hidrológica de un río como factor en la toma de decisiones de manejo. Si bien la propuesta desarrollada fue pensada para el caso de "derivación de caudal" en un aprovechamiento sin capacidad de regulación, se considera que los fundamentos de la metodología pueden ser aplicados a aprovechamientos con capacidad de regulación.

Se considera importante desarrollar criterios de análisis de las propuestas de caudales ambientales que, como el desarrollado en este caso, permitan tener parámetros claros de comparación entre opciones de proyecto y de operación para apoyar la toma de decisiones.

## Referencias

- [1] JUNK, W., BAYLEY B., SPAKS R. (1989) – "The flood-pulse concept in river floodplain systems" en *Proceedings of the International Large River Symposium (LARS), Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences Special Publication 106*.
- [2] NEIFF, J.J. (1990) – "Ideas para la interpretación ecológica del Paraná" en *Interciencia 15 (6): 424-441*.
- [3] LIPKIN R., GALAT D., (2000) – "Restoring ecological integrity of rivers: historical hydrographs aid in defining reference conditions for the Missouri River" en *Hydrobiologia 422/423:29-48*.
- [4] POFF, N.L., ALLAN, J.D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., STROMBERG J.C. (1997) – "The natural flow regime - a paradigm for river conservation and restoration" en *BioScience 47: 769-784*.
- [5] LISCIA, S. O., LUCINO, C. V., DEL BLANCO, M. M., ANGULO, M. A. (2009) – " Brazo Aña Cuá: Enfoque Ecohidrológico para definir el Régimen de Caudales" en *1º Congreso Internacional de Hidroclimatología, Cochabamba, Bolivia*.
- [6] NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES (2005) – "The Science of Instream Flows: A Review of the Texas Instream Flow Program" en *Committee on Review of Methods for*

Establishing Instream Flows for Texas Rivers. Water Science and Technology Board Division on Earth and Life Studies. Washington, D.C.

[7] **LISCIA, S. O., LUCINO, C. V., ANGULO, M. A., DEL BLANCO, M. M.** (2008) – “Metodología de selección de potencia instalada en centrales hidroeléctricas” en XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias Colombia.